

# Avaliação experimental da produção de biogás através da co-digestão de resíduos sólidos orgânicos com lodo de esgoto.

*Experimental evaluation of biogas production through the co-digestion of organic solid waste with sewage sludge.*

Tomé de Almeida e Lima; Wiliam Romanholi; Gabriela Moreira Borges; Thiago Cruz Pimentel; Mariana Pereira da Silva.

## RESUMO

Os resíduos sólidos orgânicos em sua grande maioria são dispostos em aterros figurando como um passivo ambiental controlado. Por outro lado a demanda por energias renováveis vem crescendo, assim como a demanda pela destinação adequada dos resíduos. O Projeto Biogás UFRJ surge nesse contexto. O objetivo geral do projeto é desenvolver uma metodologia eficiente para operar e controlar a produção de biogás e o tratamento de resíduos orgânicos do Restaurante Universitário, através da co-digestão de resíduos sólidos e lodo de esgotos. Esse artigo busca apresentar como o monitoramento do volume e composição do biogás produzido, e de parâmetros físico-químicos do substrato e do efluente digerido, em um digestor de 2.48 m<sup>3</sup>, no ano de 2015, apontam os potenciais e desafios para uma operação mais eficiente e viabilidade técnica do tratamento biológico dos resíduos orgânicos e produção de bioenergia.

**Palavras-chave:** Resíduos Sólidos Orgânicos. Tratamentos Biológicos. Co-digestão anaeróbia. Biogás. Bioenergia.

## ABSTRACT

*Organic solid waste mostly are arranged in landfills, figuring as a controlled environmental liability. On the other hand the demand for renewable energy is growing, and the demand for the proper disposal of waste also. Biogas UFRJ Project arises in this context. The overall objective of the project is to develop an efficient methodology to operate and control the production of biogas and the treatment of organic waste from the University Restaurant by co-digestion of solid waste and sewage sludge. This article seeks to present how monitoring the volume and composition of the biogas produced, and physico-chemical parameters of the substrate and the digested effluent, in a 2.5 m<sup>3</sup> digester during 2015, point the potential and challenges for a more efficient operation and technical viability for biological treatment of organic waste and bioenergy production.*

**Keywords:** Organic Solid Waste. Biological Treatments. Anaerobic Co-digestion. Biogas. Bioenergy.

## INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos configuram um dos principais desafios contemporâneos da gestão ambiental. A maioria dos resíduos sólidos são dispostos em aterros, figurando como um passivo ambiental controlado. No entanto, apenas 10% dos resíduos sólidos são rejeitos, a maior parte é composta por matéria orgânica que deve ser coletada de forma seletiva e

reaproveitada em forma de adubo e combustível (PNRS, 2012). Uma das metas do Plano Nacional de Resíduos Sólidos é alcançar o índice de reciclagem de 20% desses resíduos. As Tabelas 1 e 2 apresentam a composição dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil e sua respectiva destinação.

**Tabela 1 - Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008. [1]**

Resíduos	Participação (%)	Quantidade (t/dia)
<b>Material reciclável</b>	<b>31,9</b>	<b>58.527,40</b>
Metais	2,9	5.293,50
Aço	2,3	4.213,70
Alumínio	0,6	1.079,90
Papel, papelão e tetrapak	13,1	23.997,40
Plástico total	13,5	24.847,90
Plástico filme	8,9	16.399,60
Plástico rígido	4,6	8.448,30
Vidro	2,4	4.388,60
<b>Matéria orgânica</b>	<b>51,4</b>	<b>94.335,10</b>
<b>Outros</b>	<b>16,7</b>	<b>30.618,90</b>
<b>Total</b>	<b>100,0</b>	<b>183.481,50</b>

**Tabela 2 - Quantidade diária de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos encaminhados para diferentes formas de destinação final, para os anos 2000 e 2008. [1]**

Destino Final	2000		2008	
	Quantidade (t/d)	%	Quantidade (t/d)	%
Aterro sanitário	49.614,50	35,4	110.044,40	58,3
Aterro Controlado	33.854,30	24,2	36.673,20	19,4
Vazadouros a céu aberto (Lixão)	45.484,70	32,5	37.360,80	19,8
Unidade de compostagem	6.364,50	4,5	1.519,50	0,8
Unidade de triagem para reciclagem	2.158,10	1,5	2.592,00	1,4
Unidade de incineração	483,10	0,3	64,80	<0,1
Vazadouro em áreas alagáveis	228,10	0,2	35,00	<0,1
Locais não fixos	877,30	0,6	SI	
Outra unidade	1.015,10	0,7	525,20	0,3
<b>Total</b>	<b>140.080,70</b>		<b>188.814,90</b>	

Como pode-se observar a grande maioria dos resíduos são encaminhados para aterros, que em teoria só deveriam receber rejeitos. A geração de

recursos a partir dos resíduos sólidos, quando ocorre, tem como foco a fração inerte reciclável ou incinerável, como metais, plásticos, papel e vidro.

Entretanto, no Brasil mais de 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos são de natureza orgânica, cuja disposição em aterros sanitários causa impactos relacionados à produção de lixiviado contaminado de alta carga orgânica e emissões de gases de efeito estufa.

Por outro lado a demanda por energias renováveis vem crescendo assim como a demanda pela destinação adequada dos resíduos. A digestão anaeróbia é um processo biológico de tratamento de resíduos orgânicos, cujos produtos são o biogás e o efluente digerido. O biogás é uma mistura composta principalmente de metano (40 a 70 %) e dióxido de carbono (30 a 60 %), com vestígios de gases de enxofre. O metano é um hidrocarboneto rico em energia e pode ser usado como combustível em várias aplicações como iluminação, cozimento, eletricidade ou combustível veicular (RAJENDRAN et al, 2013).

A evidência histórica mostra o uso do biogás na Assíria no século X a.C. para aquecer a água para tomar banho e na Pérsia no século XVI. A investigação científica relacionada com o tema começou no século XVII, quando a belga Jan Van Helmont Baptista relaciona a decomposição de material orgânico com a geração de gases inflamáveis (VERMA, 2002).

Hoje milhares de instalações de digestão anaeróbia estão processando com sucesso milhões de toneladas de produtos orgânicos municipais, agrícolas e industriais, produzindo eletricidade, calor, biometano, bem como produtos de alto valor para o solo (WELLINGER et al, 2013). Biodigestores também têm sido utilizados com sucesso em muitos países como uma tecnologia de baixo custo na produção de combustível para cozinhar e aquecer, ao mesmo tempo que promove o tratamento de resíduos, a produção de fertilizantes e a redução das emissões de gases de efeito estufa.

O tratamento por digestão anaeróbia pode ser dividido em quatro etapas: pré-tratamento dos resíduos, a digestão, o aproveitamento de gases e aproveitamento de efluentes. O pré-tratamento é necessário para se obter uma matéria-prima homogênea através da trituração. Normalmente, instalações de digestão anaeróbia de resíduos recebe substrato oriundo de coleta seletiva ou

este é separado mecanicamente na planta. O resíduo pode ser diluído em água, em lodo de esgoto, esgoto bruto, na recirculação do efluente ou os resíduos podem não passar por diluição alguma. A diluição e a formação de massa de resíduo homogêneo pode ser feita no interior do digestor ou numa unidade separada.

A digestão é decorrente da atuação de uma sucessão de comunidades microbianas, protagonizadas por bactérias e archaeas. O processo biológico é dividido em quatro etapas: hidrólise (quebra de compostos complexos em compostos mais simples), acidogênese (produção de ácidos graxos), acetogênese (produção de acetatos) e metanogênese (produção de metano). Pode ocorrer de diferentes formas, com as variações nos parâmetros de funcionamento como tempo de detenção hidráulica, regime de alimentação, composição do substrato, temperatura no interior do digestor, entre outros.

Alguns parâmetros de operação são a relação C/N (carbono/nitrogênio) do substrato, teor de sólidos, pH e carga orgânica (BRANCOLI, 2014). O biometano contido no biogás produzido deve ser coletado e armazenado para queima, e pode ser submetido a um tratamento a fim de remover os contaminantes, tais como umidade, enxofre, dióxido de carbono, entre outros. O nível de tratamento é uma função da utilização do gás (ROHSTOFFE, 2010). Os efluentes podem ser utilizados como fertilizante diretamente no solo ou passar por outros tratamentos.

Co-digestão é o termo empregado para digestão simultânea de diferentes frações orgânicas. A co-digestão de resíduos sólidos orgânicos e lodo de esgoto objetiva promover um substrato complementar em composição e rico em microorganismos decompositores. Ao se aproveitar a infraestrutura existente de uma estação de tratamento de esgotos para tratar também resíduos sólidos, possibilita-se um processo eficiente de digestão e aproveitamento do biogás.

Algumas vantagens da co-digestão anaeróbia do lodo de esgoto com a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos são: maior rendimento do processo de digestão anaeróbia; melhor equilíbrio de nutrientes através da suplementação de compostos que existam em baixa quantidade em um dos

substratos; efeitos sinérgicos de micro-organismos; aumento da carga de matéria orgânica biodegradável e maiores taxas de produção de biogás.

O presente artigo visa apresentar os resultados do Projeto Biogás UFRJ 2015, que surge nesse contexto e se dedica ao estudo da produção de biogás através da co-digestão anaeróbica de resíduos sólidos orgânicos do Restaurante Universitário da UFRJ com lodo de reatores UASB, nas instalações do Centro Experimental de Saneamento Ambiental (CESA-UFRJ).

O objetivo geral do projeto é desenvolver uma metodologia eficiente para operar e controlar a produção de biogás e o tratamento de resíduos orgânicos do Restaurante Universitário, através da co-digestão de resíduos sólidos e lodo de reatores UASB do CESA UFRJ. Para o controle da produção de biogás buscamos monitorar e otimizar o volume de gás produzido e a composição de metano, bem como o monitoramento e controle dos parâmetros intervenientes na produção de biogás no substrato (acidez volátil, alcalinidade, carga orgânica volumétrica, composição do substrato, relação C/N do substrato, temperatura, volume útil de reator, tempo de retenção hidráulica). Para a avaliação da qualidade do efluente líquido gerado a partir da biodigestão anaeróbia, enquanto possibilidade de tratamento de resíduos orgânicos e produção de fertilizantes, são analisados parâmetros que dizem respeito a estabilização, carga orgânica e nutrientes do efluente.

## **METODOLOGIA**

O experimento operou em condição mesofílica (temperatura ambiente), em operação semi-contínua no interior de um digestor cilíndrico de 2.48 m<sup>3</sup>, confeccionado em fibra de vidro, por 55 semanas. A alimentação foi realizada semanalmente com tempos de retenção e proporções controladas de uma mistura de resíduos sólidos orgânicos e lodo de esgoto de modo a variar a composição e a carga orgânica volumétrica (COV) aplicada.

A taxa de carga orgânica volumétrica representa a massa de resíduos orgânicos por unidade de volume do digestor por unidade de tempo que é adicionada no digestor. A taxa de produção de biogás é altamente dependente deste parâmetro. Existe um valor ótimo para cada tipo de planta de digestão

anaeróbia que proporciona uma máxima produção de biogás. A partir deste valor aumentos na taxa de carga orgânica não ocasionam um aumento proporcional na produção de gás (Monharo, 1974). Para o controle deste parâmetro foram realizadas semanalmente coletas de amostras tanto de fase sólida quanto líquida do material afluente e efluente ao reator, e, posteriormente, encaminhado para análise junto ao LEMA/UFRJ - Laboratório de Engenharia e Meio Ambiente da Escola Politécnica da UFRJ. A literatura recomenda que este parâmetro esteja entre 0,5 kgSSV/m<sup>3</sup>reator.d (quilogramas de sólidos suspensos voláteis por metro cúbico de reator por dia) e 6.0 kgSSV/m<sup>3</sup>reator.d, de modo que este foi o parâmetro central de nossa pesquisa.

Para caracterização da carga orgânica do substrato e do efluente é realizada uma análise de sólidos e da Demanda Química de Oxigênio (DQO), um parâmetro indireto para aferir a carga orgânica de líquidos através da demanda de oxigênio necessária a oxidação da matéria orgânica. Os sólidos totais (ST) também são importante parâmetro para a caracterização do substrato e estão diretamente relacionados à COV aplicada. Já os sólidos voláteis (SV) expressam a quantidade de sólidos suscetíveis a biodegradação, indicando assim o potencial de produção de biogás de um substrato. Os sólidos totais fixos (STF), de forma contrária expressam a fração dos sólidos não voláteis. Os sólidos suspensos totais (SST), os sólidos suspensos fixos (SSF) e os sólidos suspensos voláteis (SSV), diferenciam a fração volátil e fixa dos sólidos em suspensão, que representam a fração mais facilmente biodegradável.

Os microorganismos protagonistas do processo de decomposição consomem cerca de 20 a 25 átomos de carbono (C) por átomo de nitrogênio (N) assimilado, portanto a relação C/N é também um parâmetro de dimensionamento da mistura, muito nitrogênio pode acidificar demais o meio, muito carbono retarda a taxa de produção de biogás (VERMA, 2002). O Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) e o Carbono Orgânico Total (COT) são os parâmetros escolhidos para medir o nitrogênio e o carbono total, e assim aferir

a relação C/N, que é outro importante parâmetro de dimensionamento e operação.

Cargas orgânicas muito elevadas podem levar à acidificação do meio, podendo ocasionar a parada na produção de biogás. Esta queda no pH do meio se deve ao aumento na produção de ácidos voláteis pelas bactérias acidogênicas e consequente inibição ou morte das arqueas metanogênicas, que não toleram valores de pH muito inferiores a 6,8 (Souza, 2002). Portanto para o controle de acidez no reator serão monitorados além do pH, parâmetros que indicam o comportamento do pH, como a alcalinidade e a acidez volátil. Tais parâmetros indicam previamente o comportamento do pH, auxiliando no manejo corretivo antes que uma acidez desastrosa aconteça. A alcalinidade expressa o quanto a mistura pode suportar a produção de ácidos sem que o pH caia, a acidez volátil expressa a quantidade de ácidos graxos voláteis na mistura.

Uma segunda classe de parâmetros hidráulicos e referentes ao gás produzido são monitorados diretamente nas Instalações do CESA. São estes:

- Volume total de gás produzido;
- Composição de metano no gás produzido;
- Volume útil de operação do digestor.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

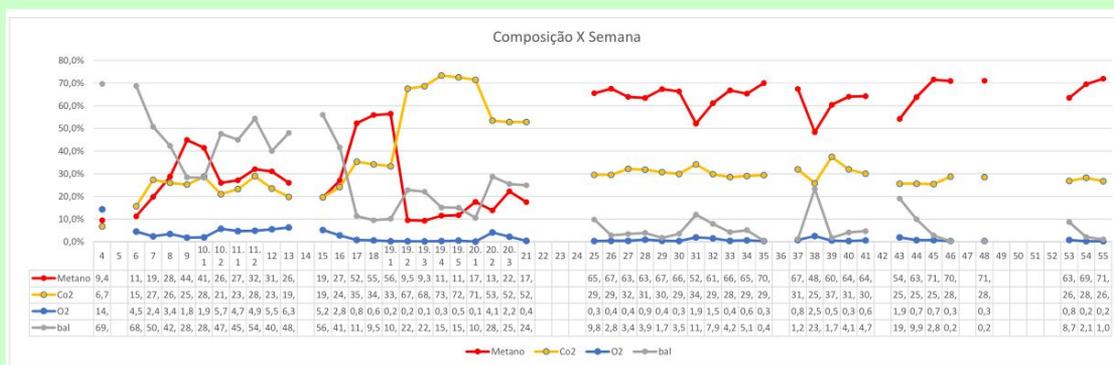
Foram realizadas 55 semanas de operação e monitoramento do biodigestor. Os resultados compilados do período de experimento serão apresentado em 3 seções: a composição do biogás; o volume de gás produzido e os resultados das análises de amostras do substrato e do efluente, seguidos de uma discussão e considerações finais. Os Gráficos 1 e 2 apresentam a composição e volume medido, respectivamente.

Até a semana 8 o digestor operava com um volume útil (fase líquida) de cerca de 1.5 m<sup>3</sup> e alimentação com carga orgânica variável, após a semana 8 foram definidos mais alguns parâmetros. O volume útil seria mantido em 1.5 m<sup>3</sup>. O tempo de detenção hidráulica almejado seria mais de 30 dias, logo a alimentação diária ou semanal deveria ser menor que 50 litros por dia ou 350

litros por semana. Visando manter COV próximo a 3,4 kgSSV/m<sup>3</sup>reator.d, decidimos alimentar o digestor com um total semanal de 300 litros. Foram assumidos valores médios de ST para o lodo e o resíduo de forma a calcular uma mistura com sólidos totais próximo a 12%, foi assumido também que no substrato os valores de ST e SSV seriam bem próximos. A proporção de mistura utilizada seria de 1litro de resíduos sólidos para 5 litros de lodo (50 litros de resíduo + 250 litros de lodo).

## Composição

**Gráfico 1 - resultados da composição medida ao longo das 55 semanas.**



No Gráfico 1 estão representadas as frações de Metano (CH<sub>4</sub>), em vermelho, Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), em amarelo, Oxigênio (O<sub>2</sub>), em azul, e Outros gases, em cinza.

O monitoramento da composição teve início na semana 6, quando terminou o período de inoculação, preenchimento do volume útil do reator só com lodo, e apenas com 9 semanas a composição de metano atingiu valores acima de 40%, dentro da faixa preconizada.

Na semana 9 o digestor sofreu uma choque de carga orgânica pois começamos a operar com uma carga orgânica mais de quatro vezes maior que nas semanas anteriores, o que refletiu numa leve acidificação e redução da fração de metano.

Ao longo das semanas 9 a 18 foi mantida a alimentação próxima a 300 litros semanais e próximo da proporção 1 pra 5 de resíduos e lodo, o digestor se adaptou a carga orgânica imposta e a composição desejada de metano foi recuperada.

Rotineiramente, estávamos tendo dificuldades logísticas de obter a quantidade de resíduos necessária, algumas vezes alimentando com um pouco menos que o desejado. Na semana 19, conseguimos pegar bastante resíduos, e agora que o digestor já suportava uma carga maior resolvemos fazer um teste no digestor, e alimentamos com uma proporção de 136 litros de resíduos e 201 litros de Lodo), cerca de 2,5 vezes mais resíduo sólido e 10% a mais de volume semanal que a quantidade usual. O resultado foi catastrófico, o digestor acidificou, gerou odores desagradáveis e a produção de metano cessou.

Buscamos agora aprender como recuperar a acidificação do digestor. Alimentamos o digestor com o volume usual de 300 litros, só de lodo, visando diluir os ácidos e repor a comunidade metanogênica, durante quatro semanas, e o reator continuou ácido. Na semana 24, aplicamos uma porção de 100g de cal virgem, junto a alimentação com lodo, e a partir daí o reator conseguiu recuperar o pH e a produção de metano.

Justamente entre as semanas 22 e 24, o equipamento de monitoramento da composição do gás foi enviado para calibração, e perdemos os dados da recuperação do reator.

A partir da semana 25 voltamos a meta de aplicar 300 litros semanais a uma proporção  $\frac{1}{3}$ , porém aumentando a proporção de resíduos sólidos gradualmente. A composição alcançada foi satisfatória e passamos a direcionar os esforços para a medição de volume.

Das 48 leituras realizadas, obtivemos 5 acima de 70% de metano, 15 entre 70% e 60%, 5 entre 60 e 50% e 23 abaixo de 50%.

Leituras  $\geq 70\%$  metano = 5

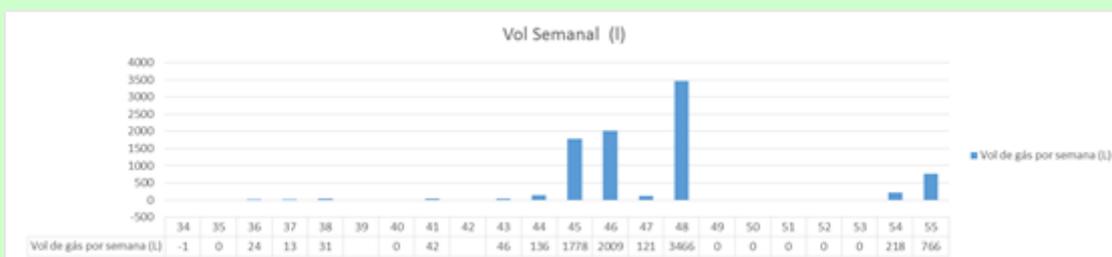
Leituras  $\geq 60\%$  metano = 20

Leituras  $\geq 50\%$  metano = 25

Total de leituras: 48

## **Volume**

**Gráfico 2 - resultados do volume de gás medido da semana 34 à 55.**



Durante a condução da maior parte do experimento notamos que os volumes de biogás produzidos estiveram abaixo dos valores esperados, muitas vezes valores nulos. Investigamos o problema por diversas abordagens; efetuamos a manutenção dos medidores de vazão, verificamos as linhas de gás entre o reator e o medidor, calibramos os medidores e não foi detectada qualquer indicação de problemas nesses equipamentos. Levantamos a hipótese de que o gás poderia estar se perdendo pelo corpo do reator, o que foi confirmado após a aplicação de resina na semana 44. Após esse procedimento obtivemos na semana 48 uma máximo de 3466 l de biogás produzidos com uma concentração de metano de 70%, valor ótimo esperado para um processo mesofílico. Atingindo uma produtividade de 98 litros de gás por kgSSV.

### Análises de amostras do substrato e do efluente

Abaixo serão apresentados alguns resultados como exemplo das correlações de dimensionamento e operação.

Tabela 3 – Análises do LEMA em 05 de maio de 2015, semana 16.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPTO. DE RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE  
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

Intercedido: Grupo BIOGÁS (Egressorário: Wilson Fontenelle)

RESULTADO DE ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA

	DQO mg/L	Alcaloidade mg/L	pH	SS mg/L	SV mg/L	STV mg/L	MT mg/L	MF mg/L	STF mg/L
HA U/S				120.503,3	42.793,3	77.710	-	-	-
HA E/S	4.500			6.003,3	3.093,3	2.910	2.600	1.000	1.600
HA S/S	27.500	7.778	5,35	47.802	8.653,3	38.148,7	26.150	5.729	20.420
HA U/S	24.500			24.756,6	8.593,3	16.163,3	22.680	7.340	15.340

Metodologia:  
DQO - Método 520 - D - Refêrencia Fiebrich - Colorimetria - SAE/W - 20<sup>o</sup> Edição  
Alcaloidade - Método 2.121 - B - Titulometria com Substrato - SAE/W - 20<sup>o</sup> Edição  
pH - Método 4.502 - B - Potenciometria - SAE/W - 20<sup>o</sup> Edição  
Sólido Total (Fiebrich e Volante) - Método 2.140 - B - Gravimetria - SAE/W - 20<sup>o</sup> Edição  
Sólido Suspensos Totais (Fiebrich e Volante) - Método 2.140 - D - Gravimetria - SAE/W - 20<sup>o</sup> Edição

As análises da semana 16 representam o primeiro momento de carga de choque, com pH reduzindo a 5,35. A letra (A) na tabela representa o alimento sólido, (E) o efluente, (S) o substrato, mistura de resíduos sólido e lodo, e (U) o lodo de UASB. Podemos observar a diferença de 27.500 mgDQO/L na entrada para 4.500 mgDQO/L no efluente, cerca de 84% de remoção.

**Tabela 4 – Análises do LEMA em 26 de maio de 2015, semana 19.**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPTO. DE RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE  
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

Intermediário: Grupo BIODGAS (Representante: Wilian Romualdo)

**RESULTADO DE ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA**

2015	DQO mg/L	Alcalinidade mg/L	pH	SI mg/L	SD mg/L	STV mg/L	SS mg/L	SM mg/L	SVV mg/L
<b>26/05</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--
19 R L/0	--	--	--	185.914,8	17.467,8	208.447,5	--	--	--
19 U 01	10.800	<b>1.180,5</b>	6,62	18.053,3	6.180	13.373,3	11.800	4.340	7.640
19 S 01	79.600	<b>1.700,7</b>	6,78	22.233,3	9.013,3	33.220	13.600	6.540	7.060
19 F 01	18.500	<b>2.381</b>	6,88	83.530	9.456,6	72.053,4	21.240	4.860	14.180

**Metodologia:**  
 DQO - Método 5.220 - D - Refluxo Fechado - Colorímetro - SM/STV - 20° - Edição  
 Alcalinidade - Método 2.120 - B - Titrimétrico com Indicador - SM/STV - 20° - Edição  
 pH - Método 4.100 - B - Potenciométrico - SM/STV - 20° - Edição  
 Sólidos Totais (Filtro e Valvula) - Método 2.140 - B - Gravimétrico - SM/STV - 20° - Edição  
 Sólidos Suspensos Totais (Filtro e Valvula) - Método 2.140 - D - Gravimétrico - SM/STV - 20° - Edição

Na semana 19, podemos observar o pH que tínhamos com o sistema estabilizando, antes da grande carga de choque catastrófica. Foi observada uma carga de DQO acima da média no efluente. Uma hipótese seria a sedimentação devido à falta de mistura no interior do reator.

**Tabela 5 – Análises do LEMA em 09 de junho de 2015, semana 21.**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPTO. DE RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE  
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

Intermediário: Grupo BIODGAS (Representante: Wilian Romualdo)

**RESULTADO DE ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA**

2015	DQO mg/L	Alcalinidade mg/L	pH	SI mg/L	SD mg/L	STV mg/L	SS mg/L	SM mg/L	SVV mg/L
<b>09/06</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--
21 U 01	12.750	833,3	5,60	8.866,6	4.106,6	4.760	7.458	3.670	4.008
21 S 01	--	--	--	--	--	--	--	--	--
21 F 01	14.000	<b>3.188,3</b>	4,58	8.400	3.760	4.640	2.700	900	1.800
21 E 01	--	--	5,21	25.560	10.726,6	14.833,4	16.360	5.240	11.120
21 F 01	--	--	5,00	11.113,3	4.666,6	6.446,7	4.570	1.790	3.780
21 F 04	--	--	4,99	17.180	8.446,6	10.733,4	1.900	470	890

**Metodologia:**  
 DQO - Método 5.220 - D - Refluxo Fechado - Colorímetro - SM/STV - 20° - Edição  
 Alcalinidade - Método 2.120 - B - Titrimétrico com Indicador - SM/STV - 20° - Edição  
 pH - Método 4.100 - B - Potenciométrico - SM/STV - 20° - Edição  
 Sólidos Totais (Filtro e Valvula) - Método 2.140 - B - Gravimétrico - SM/STV - 20° - Edição  
 Sólidos Suspensos Totais (Filtro e Valvula) - Método 2.140 - D - Gravimétrico - SM/STV - 20° - Edição

Na semana 21, podemos observar o pH de 4,98 no efluente, resultante do choque de COV aplicado. Foram aplicadas 4 semanas de alimentação apenas com lodo, a um pH próximo de 6,6 visando diluir o ácido. Na semana 24 foi aplicado 100g de cal junto ao lodo. Também foram observados valores altos de DQO no efluente.

**Tabela 6 – Análises do LEMA em 07 de Julho de 2015, semana 30.**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPTO. DE RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE  
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

Intermediário: Grupo BIODGAS (Representante: Wilian Romualdo)

**RESULTADO DE ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA**

2015	DQO mg/L	Alcalinidade mg/L	pH	SI mg/L	SD mg/L	STV mg/L	SS mg/L	SM mg/L	SVV mg/L
<b>07/07</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--
29 R L/0	--	--	--	120.713,3	11.173,3	109.540	--	--	--
29 U 01	8.700	--	6,54	26.526,6	8.953,3	18.373,3	24.600	7.790	16.840
29 F 01	27.800	<b>3.240,8</b>	6,80	50.900	19.220	31.680	61.720	15.720	28.000
29 S 01	24.000	<b>3.739</b>	6,40	19.266,6	10.130	29.076,6	30.140	7.840	22.760
COMPORTAGEM	10.000	--	7,14	15.283,3	7.750	7.533,3	2.800	5.270	1.530

**Metodologia:**  
 DQO - Método 5.220 - D - Refluxo Fechado - Colorímetro - SM/STV - 20° - Edição  
 Alcalinidade - Método 2.120 - B - Titrimétrico com Indicador - SM/STV - 20° - Edição  
 pH - Método 4.100 - B - Potenciométrico - SM/STV - 20° - Edição  
 Sólidos Totais (Filtro e Valvula) - Método 2.140 - B - Gravimétrico - SM/STV - 20° - Edição  
 Sólidos Suspensos Totais (Filtro e Valvula) - Método 2.140 - D - Gravimétrico - SM/STV - 20° - Edição

Na semana 25, já podemos observar a recuperação e estabilização do pH acima de 6,9 e a composição de metano recuperada em porcentagens acima de 60%. Valores de pH e de composição acima desses são registrados até o final do experimento. Porém a DQO no efluente também foi bem acima da média e vai reduzindo ao longo da estabilização do reator.

**Tabela 7 – Análises do LEMA em 26 de Janeiro de 2016, semana 51.**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPTO. DE RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE  
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

Interessado: Grupo BIOGÁS (Representante: Thiago)

**RESULTADO DE ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA**

2016	DQO mg/L	Alcalinidade mg/L	pH	ST mg/L	STF mg/L	STV mg/L	SSF mg/L	SSV mg/L	SSV mg/L
26/01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
51 A 1/10	-	-	-	110.706,9	6.603	104.103,9	-	-	-
51 E 01	8.100	2.142,8	7,71	44.026,6	19.286,6	24.740	24.406,6	8.546,6	15.860
51 S 01	44.450	2.380,9	7,00	60.353,3	20.403,3	39.950	27.513,3	9.106,6	18.406,7
51 U 01	40.150	-	7,45	55.653,3	25.093,3	30.560	31.780	13.786,6	17.993,4
Chorume 1	1.400	595,2	6,60	8.490	5.366,6	3.123,4	140	70	70
Chorume 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Metodologias:**  
DQO – Método 5.220 – D – Refúrio Fechado – Colorimétrico – SMETW – 20ª Edição  
Alcalinidade – Método 2.120 – B – Titulométrico com Indicador – SMETW – 20ª Edição  
pH – Método 4.500 – B – Potenciométrico – SMETW – 20ª Edição  
Sólidos Totais (Filtro + Volátil) – Método 2.540 – B – Gravimétrico – SMETW – 20ª Edição  
Sólidos Suspensos Totais (Filtro + Volátil) – Método 2.540 – D – Gravimétrico – SMETW – 20ª Edição

Na semana 51, observamos um panorama representativo da estabilização na segunda metade das semanas, atingindo valores de pH acima de até 7,71 e atingindo uma eficiência de remoção de 82% da DQO do substrato para o efluente.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O experimento enfrentou dificuldades de infraestrutura e logística. Tivemos dificuldade de conseguir a entrega do resíduo, então realizamos o transporte empurrando em lixeiras e carrinhos até o CESA, o que limitou a quantidade de resíduo em alguns dias de operação. O material utilizado na confecção do reator não foi adequado, o que resultou no vazamento de gás e dificuldade de medição da vazão e análise da produtividade. O digestor cilíndrico foi posicionado deitado com um declive de uma base a outra, a alimentação se dava pela base mais alta, porém sendo conduzido pelo cano de alimentação até o fundo, e a retirada do efluente pela base mais baixa e o que pode ter favorecido a sedimentação e caminhos preferenciais, que explicam a inconstância dos valores no efluente. Sugerimos experimentar o cilindro apoiado sobre uma de suas bases, de forma que a alimentação seria sempre feita por cima, e conduzida pelo cano até o fundo, e a retirada do efluente

deveria ser acima da metade do reator, próximo ao nível, e retirada de lodo pelo fundo.

O material utilizado na construção do reator foi em grande maioria reaproveitado de materiais ociosos no CESA, a pesquisa contou com pouquíssimos investimentos, o que ocasionou algumas dificuldades em equipamentos.

A proporção de resíduos sólidos e lodo de esgotos experimentada que mais se adequou ao funcionamento do reator foi de 1 litro de resíduo sólido para 5 litros de lodo, atuando com uma COV mediana. Constatamos que choques de carga orgânica ocasionam acidificação o que prejudica tanto a produção de biogás como a remoção de matéria orgânica. O aumento da COV deve ser feito gradualmente, dando tempo para a adaptação das comunidades microbianas.

Decidimos por desativar esse biodigestor de fibra devido aos problemas estruturais que ele apresentava. Em meados de 2016 serão instalados outros modelos de digestor, já dispomos de dois biodigestores têxteis e pretendemos construir um com tanques IBC (*International Bulk Container*) de 1 m<sup>3</sup> por reator.

As próximas perspectivas após a instalação dos digestores são solucionar o monitoramento da vazão, estudar o aproveitamento energético do gás, aprofundar o estudo do substrato e do efluente, avaliar a utilização do efluente para produção de fertilizante. Uma segunda perspectiva de evolução do experimento é o desenvolvimento de monitoramento automático de baixo custo, através de sensores acoplados a uma plataforma Arduino. A comparação entre a digestão de resíduos sólidos e a co-digestão dos resíduos sólidos com lodo de esgoto é uma perspectiva de pesquisa a partir da instalação de dois reatores idênticos para o ano de 2016.

A técnica é viável e apresenta grande potencial de produção de energia, tratamento biológico de resíduos e produção de fertilizante orgânico. A realização de pesquisa e entendimento do processo, que apresenta muitas dificuldades, mas também muitos aprendizados. O grupo vem buscando formas de se consolidar, buscando financiamento de bolsas de iniciação científica e articulando com parcerias chave. O grupo objetiva desenvolver projetos de

extensão no contexto do saneamento ecológico, relacionado à produção de biogás no tratamento de resíduos e efluentes.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a toda equipe do Projeto Biogás UFRJ, pelo trabalho coletivo, todo árduo trabalho com resíduos e lodo de esgoto e todo esforço de pesquisa bibliográfica e estudo; equipe CESA UFRJ, pelo apoio estrutural e colaboração na execução do experimento; equipe LEMA UFRJ, pelo esforço e compromisso na análise de amostras de resíduo sólido, lodo e efluente; Sistema de Alimentação UFRJ por conceder os resíduos orgânicos das refeições do Restaurante Universitário.

## **REFERÊNCIAS**

BRANCOLI, P. L. Avaliação experimental da co-digestão anaeróbia de resíduos orgânicos e lodo de esgoto em digestores têxteis. Projeto de Graduação (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro. 2014.

PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Disponível em: [http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS\\_Revisao\\_Decreto\\_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657](http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657) . Acessado em 07/05/2016.

RAJENDRAN, K., ASLANZADEH, S., JOHANSSON, F., TAHERZADEH, M.J. Experimental and economical evaluation of a novel biogas digester. *Energy Conversion and Management* 2013;74:183-91.

ROHSTOFFE, F. N. Guia Prático do Biogás - Geração e Utilização. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). 2010.

VERMA, S. Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes. Department of Earth & Environmental Engineering. Columbia University, 2002.

WELLINGER, A. MURPHY, J. and BAXTER, D. The Biogas Handbook: Science, Production & Application. S. Hughes, Ed., Philadelphia: Woodhead Publishing, 2013.